

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
12 septembre 2002 (12.09.2002)

PCT

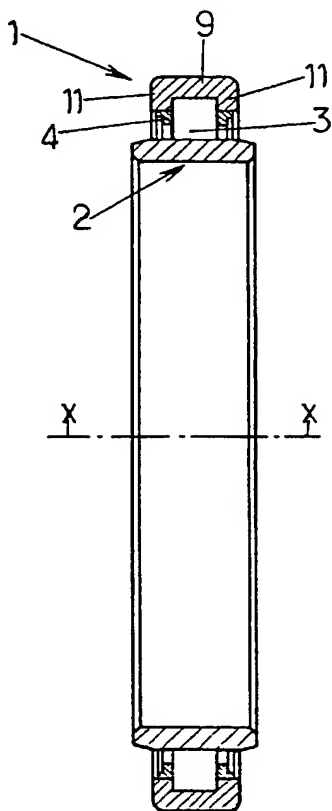
(10) Numéro de publication internationale  
**WO 02/070909 A1**

- (51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> : **F16C 33/34** (72) Inventeur; et  
(21) Numéro de la demande internationale : (75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : **CARREROT,**  
PCT/FR02/00712 Hervé [FR/FR]; 6, rue Joseph Cazin, F-59970 Vicq (FR).  
(22) Date de dépôt international : (74) Mandataires : **BEROGIN, Francis** etc.; Cabinet Plasser-  
27 février 2002 (27.02.2002) aud, 84, rue d'Amsterdam, F-75440 Paris Cedex 9 (FR).  
(25) Langue de dépôt : français (81) États désignés (national) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ,  
(26) Langue de publication : français BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ,  
(30) Données relatives à la priorité : DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,  
01/03029 6 mars 2001 (06.03.2001) FR HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK,  
(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **SNFA** LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX,  
[FR/FR]; 23, boulevard de Brandebourg, F-94200 Ivry sur MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI,  
Seine (FR). SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN,  
YU, ZA, ZM, ZW.

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: ROLLING BEARING WITH NITRIDING STEEL CYLINDRICAL ROLLING ELEMENTS

(54) Titre : ROULEMENT A ROULEAUX CYLINDRIQUES EN ACIER DE NITRURATION



(57) Abstract: The invention concerns a rolling bearing with relieved cylindrical rolling elements maintained in a cage (4) between a cylindrical inner raceway on an inner steel ring (2) and a cylindrical outer raceway on an outer steel ring (1) and bordered by at least an annular lateral flange (11) projecting substantially radially inwards on the outer ring (1). Said rolling bearing is such that at least the rolling elements (3) are made of deep nitriding steel, comprising 0.3 % of C, 3 % of Cr, 1 % of Mo, 0.25 % of V, and 0.15 % of Ni, prepared by double vacuum smelting and whereof at least the white nitride surface layer has been completely eliminated from at least all the working surfaces of the rolling elements (3) coming into contact with the rings (1, 2) and/or the cage (4). The invention is useful for mounting in rotation in particular stages of aircraft turbo-compressor rotors and turbojets.

(57) Abrégé : Le roulement à rouleaux (3) cylindriques dépouillés retenus dans une cage (4) entre un chemin de roulement interne cylindrique sur une bague intérieure (2) en acier et un chemin de roulement externe cylindrique sur une bague extérieure (1) en acier et bordé par au moins un épaulement (11) latéral annulaire en saillie sensiblement radialement vers l'intérieur sur la bague extérieure (1), est tel qu'au moins les rouleaux (3) sont en un acier de nitruration profonde, comprenant de l'ordre de 0,3 % de C, 3 % de Cr, 1 % de Mo, 0,2 % de V, et 0,15 de Ni, élaboré par double fusion sous vide et dont la couche blanche superficielle de nitrures a été complètement éliminée d'au moins toutes les surfaces travaillantes des rouleaux (3) venant en contact avec les bagues (1, 2) et/ou la cage (4). Application au montage en rotation en particulier d'étages de rotors de compresseurs de turbines et turboréacteurs d'avions.

WO 02/070909 A1



(84) États désignés (*régional*) : brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée :**

— avec rapport de recherche internationale

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

**Déclaration en vertu de la règle 4.17 :**

— relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv) pour US seulement

## « ROULEMENT A ROULEAUX CYLINDRIQUES EN ACIER DE NITRURATION »

L'invention concerne un roulement à rouleaux cylindriques, du type dit  
5 dépeuillé, dont les rouleaux en acier sont retenus dans une cage entre un  
chemin de roulement interne cylindrique, délimité sur une surface lisse en  
position radiale externe sur une bague intérieure en acier, et un chemin de  
roulement externe cylindrique, délimité sur une surface en position radiale  
interne d'une bague extérieure en acier, et bordé par au moins un épaulement  
10 latéral annulaire en saillie sensiblement radialement vers l'intérieur sur la  
bague extérieure, coaxiale à la bague intérieure, aux chemins de roulement en  
regard l'un de l'autre, et audit épaulement annulaire.

On sait que l'on dénomme « rouleaux cylindriques dépeuillés » des  
rouleaux à symétrie de révolution autour d'un axe, et dont chacun comporte  
15 une partie centrale cylindrique de section circulaire, prolongée, en direction  
axiale et symétriquement de chaque côté, par une portion d'extrémité  
faiblement tronconique, coaxiale à la partie centrale cylindrique, et convergent  
axialement vers l'extérieur d'un angle très faible, chaque portion tronconique  
se raccordant, par une partie annulaire arrondie, à rayon de courbure  
20 constant, à l'une respectivement des deux faces latérales, ou d'extrémité  
axiale, du rouleau, qui sont perpendiculaires à l'axe du rouleau.

On sait que le principal avantage procuré par l'utilisation de rouleaux  
cylindriques dépeuillés dans des roulements est de permettre l'élimination de  
surcontraintes engendrées, au niveau des raccordements entre leur partie  
25 centrale cylindrique et leurs portions d'extrémité très faiblement tronconiques,  
aux basculements des rouleaux, en fonctionnement du roulement.

L'invention concerne plus précisément un roulement à rouleaux  
cylindriques dépeuillés, tel que présenté ci-dessus, de grande précision, par  
exemple de niveau ISO4-RBEC7, et en particulier de qualité aéronautique.

30 On utilise déjà en aéronautique, notamment pour le montage en rotation  
d'étages de rotors de compresseurs de turboréacteurs d'aéronefs, des  
roulements à rouleaux cylindriques dépeuillés du type présenté ci-dessus,

dont les rouleaux sont réalisés en un acier choisi parmi les aciers à roulements traditionnels, de préférence de type M50 ou 100C6, et dont les bagues intérieure et extérieure sont réalisées en un acier choisi parmi les aciers à roulements traditionnels précités, de préférence de type M50 ou 100C6, ou  
5 parmi les aciers structuraux de nitruration ou de cémentation, de préférence et respectivement de type 32CDV13 ou M50NIL.

Dans l'application précitée, au montage en rotation d'étages de rotors de compresseurs de turboréacteurs, il a été constaté une grande sensibilité et fragilité des roulements à rouleaux cylindriques dépouillés de l'état de la  
10 technique à l'ingestion de particules étrangères, ayant provoqué des microcraques de surface, progressant jusqu'à l'écaillage des rouleaux et chemins de roulement des bagues, d'où une indentation des surfaces en contact des rouleaux et des bagues, lors de l'absorption de particules étrangères.

15 Il en résulte que ces roulements présentent une durée de vie trop limitée, par une apparition relativement rapide des premières craques de fatigue de surface engendrant des écaillages des rouleaux cylindriques dépouillés et des chemins de roulement des bagues.

Le problème à la base de l'invention est de réaliser un roulement à  
20 rouleaux cylindriques dépouillés, du type connu présenté ci-dessus, mais convenant mieux aux diverses exigences de la pratique que les roulements de ce type actuellement utilisés, et un but de l'invention est de proposer un tel roulement à rouleaux cylindriques dépouillés bénéficiant d'une durée de vie prolongée, en repoussant les limites de comportement à la fatigue des  
25 surfaces de contact entre les rouleaux et les bagues, et donc présentant une plus grande résistance à l'indentation des surfaces en contact, lors de l'ingestion de particules étrangères, car retardant de manière très sensible l'apparition des craques de fatigue de surface engendrant les écaillages des rouleaux et des chemins de roulement des cages du roulement.

30 Un but de l'invention est donc de proposer un roulement à rouleaux cylindriques dépouillés du type précité et destiné à être utilisé pour le montage

en rotation en particulier d'étages de rotors de compresseurs de turboréacteurs d'avions.

Ces buts ont été atteints, de manière surprenante et inattendue, par le roulement à rouleaux cylindriques dépouillés selon l'invention, qui se caractérise en ce qu'au moins les rouleaux sont en un acier de nitruration à nitruration profonde, (c'est-à-dire ayant subi un traitement thermochimique de nitruration profonde), comprenant, en pourcent et en poids, de l'ordre de :

- 0,3 % de C,
- 3 % de Cr,
- 10        - 1 % de Mo,
- 0,2 % de V,
- 0,15 % de Ni,

élaboré par double fusion sous vide, et dont la couche blanche superficielle de nitrures a été complètement éliminée d'au moins toutes les faces travaillantes des rouleaux venant en contact avec les bagues et/ou la cage.

Avantageusement, la profondeur de nitruration de l'acier de nitruration profonde est comprise dans une plage s'étendant d'environ 0,45 mm à environ 0,75 mm.

De préférence, l'acier de nitruration à nitruration profonde est un acier 32CDV13, et dans le mode de réalisation qui a procuré les meilleurs résultats, cet acier 32CDV13 est de la nuance G.K.H.Y.W. de l'aciériste français Aubert et Duval.

Il a été constaté que le roulement à rouleaux selon l'invention présente un meilleur comportement à la fatigue des surfaces de contact entre rouleaux et bagues, et donc une meilleure résistance à l'indentation des surfaces de contact lors de l'absorption de particules étrangères, par rapport aux roulements de même type de l'état de la technique, de sorte que la durée de vie des roulements à rouleaux selon l'invention est fortement prolongée par rapport à celle des roulements analogues connus, avant l'apparition des premières criques de fatigue de surface engendrant des écaillages des rouleaux et des chemins de roulement des bagues.

Concernant les bagues extérieure et intérieure, l'une au moins de ces dernières peut être réalisée en un acier à roulement traditionnel, de type 100C6, ou encore de type M50 (ou 80DCV40) comprenant, en pourcent et en poids, de l'ordre de :

- 5           - 0,8 % de C,
- 4 % de Cr,
- 4 % de Mo,
- 1 % de V,
- 0,15 % de Ni,

10 et élaboré par double fusion sous vide et avec un traitement thermique de trempe à cœur.

En variante, l'une au moins des bagues extérieure et intérieure peut être réalisée en un acier structural de cémentation de type M50NIL, comprenant, en pourcent et en poids, de l'ordre de :

- 15           - 0,12 % de C,
- 4 % de Cr,
- 4 % de Mo,
- 1,2 % de V,
- 3,5 % de Ni,

20 et élaboré par double fusion sous vide, et avec un traitement thermochimique de cémentation.

Cependant, les meilleures performances sont obtenues lorsque l'une au moins des bagues extérieure et intérieure du roulement, et de préférence chacune des bagues, est réalisée en un acier de nitruration analogue ou de  
25 préférence identique à celui des rouleaux, et à nitruration profonde avec élimination complète de la couche blanche superficielle de nitrures au moins sur toute surface de ladite bague qui est destinée à venir en contact avec les rouleaux et/ou la cage.

Avantageusement, la nitruration est réalisée de sorte que les rouleaux  
30 et, le cas échéant, la ou les bagues réalisés en acier de nitruration profonde présentent une dureté superficielle comprise dans une plage s'étendant d'environ 720 à environ 850 Vickers sur charge de 0,5 kg, et une dureté à

cœur (sous la couche nitrurée) comprise dans une plage s'étendant d'environ 330 à environ 420 Vickers sur charge de 0,5 kg.

De manière connue, la cage peut être métallique et monobloc (d'une seule pièce), et présenter autant d'alvéoles que le roulement comporte de  
5 rouleaux, chaque alvéole logeant l'un respectivement des rouleaux, ladite cage étant centrée sur la bague extérieure du roulement.

Dans ce cas, il est avantageux que, selon l'invention, la cage métallique soit en bronze ou en un acier de type 40NCD7 élaboré sous vide, avec un argentage de surface au moins au niveau des alvéoles.

10 Avantageusement en outre, le chemin de roulement externe cylindrique est délimité sur la bague extérieure entre deux épaulements latéraux annulaires en saillie sensiblement radialement vers l'intérieur, de sorte que les rouleaux sont retenus entre les deux épaulements latéraux de la bague extérieure.

15 A cet effet, il est en outre avantageux que, d'une part, le rapport de la hauteur radiale de chaque épaulement au diamètre des rouleaux soit compris dans une plage s'étendant d'environ 0,29 à environ 0,31, et, d'autre part, que chaque épaulement présente une face interne, tournée vers les rouleaux, qui présente un faible angle de dépouille, compris dans une plage s'étendant  
20 d'environ 15° à environ 45°.

De plus, pour permettre le centrage de la cage par la bague extérieure, chaque épaulement de la bague extérieure peut présenter une surface cylindrique, en position radiale interne, coaxiale au chemin de roulement externe, et formant une surface de centrage de la cage.

25 Quant au chemin de roulement interne, il est avantageusement délimité sur la bague intérieure entre deux portions d'extrémité axiale de ladite bague intérieure ayant chacune une face externe tronconique convergent axialement vers l'extérieur.

D'autres avantages et caractéristiques de l'invention découleront de la  
30 description donnée ci-dessous, à titre non limitatif, d'un exemple de réalisation décrit en référence aux dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 est une vue en élévation latérale du roulement à rouleaux cylindriques dépouillés,

- la figure 2 est une vue en coupe du roulement de la figure 1 selon le plan de coupe diamétral II-II de la figure 1,

5       - la figure 3 est une vue en coupe transversale, à plus grande échelle, de la bague extérieure du roulement à rouleaux des figures 1 et 2,

- la figure 4 est une vue en coupe transversale, analogue à la figure 3, de la bague intérieure du roulement à rouleaux des figures 1 et 2,

- la figure 5 est une vue en élévation d'un rouleau cylindrique dépouillé,

10       - la figure 6 est une vue schématique partielle à plus grande échelle d'un détail de la figure 5, précisant la géométrie du rouleau cylindrique dépouillé,

- la figure 7 représente des profils, à proximité de la surface, de contraintes résiduelles sur des pièces finies d'usinage, tels que les rouleaux et  
15 bagues du roulement, avant le traitement thermochimique de nitruration profonde des pièces en 32CDV13, ou de cémentation d'une ou des bagues en M50NIL, ou encore avant le traitement thermique de trempe à cœur d'une ou des bagues en M50.

- la figure 8 représente des profils de contraintes résiduelles dus au  
20 traitement thermochimique ou thermique correspondant sur ces mêmes pièces, et

- la figure 9 représente un profil de dureté optimale, en fonction de la profondeur, dans une pièce (rouleau ou bague) en acier 32CDV13 nitruré, au niveau d'une surface à nitruration profonde.

25       Le roulement à rouleaux des figures 1 à 6 comprend essentiellement une bague extérieure 1, une bague intérieure 2, des rouleaux 3 disposés entre les bagues 1 et 2 qui sont coaxiales autour de l'axe X-X du roulement, et une cage 4 annulaire, également disposée entre les bagues 1 et 2, et qui présente  
30 autant d'alvéoles, régulièrement réparties sur sa périphérie, que le roulement comporte de rouleaux 3, chaque alvéole de la cage 4 logeant l'un respectivement des rouleaux 3.



La cage 4 et chacune des bagues 1 et 2 ainsi que chacun des rouleaux 3 est un élément monobloc (d'une seule pièce) métallique, et les bagues 1 et 2 en acier sont chacune à symétrie de révolution autour de l'axe X-X du roulement ainsi que symétrique par rapport au plan radial médian du roulement, de même que chaque rouleau 3 également en acier est à symétrie de révolution autour de son axe propre Y-Y et symétrique par rapport à un plan perpendiculaire à cet axe Y-Y et passant par son milieu.

Ce roulement à rouleaux est du type à rouleaux 3 cylindriques dépouillés, c'est-à-dire que chaque rouleau 3 présente la forme représentée sur les figures 5 et 6 : chaque rouleau 3 comporte une partie centrale 5 cylindrique de section circulaire, qui est prolongée axialement de chaque côté par l'une respectivement de deux parties d'extrémité 6, symétriques l'une de l'autre, et à surface latérale externe très faiblement tronconique et convergente axialement vers l'extérieur, chaque partie tronconique 6 se raccordant, par une partie annulaire 7, convexe et arrondie à rayon de courbure constant, à l'une respectivement des deux faces latérales 8 (ou faces d'extrémités axiales) du roulement 3, chaque face latérale 8 s'étendant perpendiculairement à l'axe de révolution Y-Y du rouleau 3, les deux parties tronconiques 6 et les deux parties convexes 7 étant coaxiales à la partie centrale cylindrique 5.

Dans cet exemple de réalisation, chacun des trente quatre rouleaux 3 est tel que le diamètre de sa partie centrale cylindrique 5 est égal à la longueur axiale du rouleau 3, entre les deux faces latérales 8, de sorte que la forme de chaque rouleau 3, vue en plan, est celle d'un carré à sommets arrondis.

La cage 4 annulaire présente donc trente quatre alvéoles, dont chacune a une section correspondant sensiblement à la forme en plan ou en coupe par un plan diamétral d'un rouleau 3, c'est-à-dire carrée à sommets arrondis.

La bague extérieure 1 présente une section transversale en forme de U (voir figures 2 et 3) à concavité tournée radialement vers l'intérieur (par rapport à l'axe X-X du roulement): cette bague 1 comprend une partie centrale 9 annulaire et cylindrique de section circulaire, dont la surface en position radiale interne constitue une piste ou un chemin de roulement externe 10 cylindrique, délimité entre deux épaulements latéraux annulaires 11 en saillie radialement

vers l'intérieur sur les côtés de la partie centrale 9. Chacun des épaulements 11, qui sont symétriques l'un de l'autre par rapport au plan radial médian de la bague extérieure 1, présente, du côté du chemin de roulement externe 10, c'est-à-dire du côté tourné vers les rouleaux 3, une face interne 12 inclinée  
5 d'un faible angle de dépouille, compris dans une plage s'étendant d'environ 15° à environ 45°, de sorte que les deux faces internes 12 s'écartent légèrement l'une de l'autre, en direction radiale vers l'intérieur, depuis le chemin de roulement externe 10 jusqu'à une surface cylindrique 13, en position radiale interne sur l'épaulement 11 correspondant, cette surface  
10 cylindrique 13 étant coaxiale au chemin de roulement externe 10 et formant une surface de centrage de la cage 4.

En outre, la hauteur radiale de chaque épaulement 11, c'est-à-dire la distance, en direction radiale entre le chemin de roulement externe 10 et les surfaces de centrage 13, qui correspond sensiblement à la hauteur de la face  
15 interne 12 à faible angle de dépouille, est telle que le rapport de cette hauteur radiale de chaque épaulement 11 au diamètre des rouleaux 3 est compris dans une plage s'étendant d'environ 0,25 à environ 0,35, et de préférence d'environ 0,29 à environ 0,31.

Les faces radiale latérales externes 14 des épaulements 11 se  
20 raccordent chacune à la face cylindrique 15, en position radiale externe, de la partie centrale 9 de la bague extérieure 1 par un chanfrein 16 légèrement convexe.

Ainsi, la cage 4 métallique, usinée à partir d'une ébauche forgée par exemple en bronze, ou en un acier de type 40NCD7 élaboré sous vide (avec  
25 dans ce cas une dureté Rockwell de 23 à 35 HRC) et avec un argentage de surface au moins au niveau des alvéoles logeant les rouleaux 3, est centrée sur les faces cylindriques 13 des épaulements 11 de la bague extérieure 1, de sorte que la cage 4 est coaxiale à la bague extérieure 1 et au chemin de roulement externe 10 autour de l'axe X-X du roulement. La cage 4 est de plus  
30 telle que ses faces radiales latérales ne débordent pas à l'extérieur, en direction axiale, des faces radiales latérales externes 14 de la bague extérieure 1, et sa face cylindrique, en position radiale externe (venant en

contact avec les faces 13 des épaulements 11) est également recouverte d'un revêtement d'argent par un traitement de surface conforme à la spécification américaine AMS2410.

La bague intérieure 2 (voir figures 2 et 4) comporte une partie centrale  
5 17 annulaire cylindrique de section circulaire, dont la face lisse en position radiale externe constitue une piste ou un chemin de roulement cylindrique interne 18, qui est en regard du chemin de roulement cylindrique externe 10 et des faces 13 de guidage de la cage 4 sur la bague extérieure 1. Sur la bague intérieure 2, le chemin de roulement interne 18 est délimité entre deux parties  
10 d'extrémités axiales 19 de cette bague 2, qui ont chacune une surface externe tronconique 20, convergent axialement vers l'extérieur, et un petit chanfrein tronconique interne 21, à l'extrémité axiale correspondante de l'alésage interne cylindrique 22 de la bague intérieure 2.

Ainsi, la bague extérieure 1 et ses épaulements 11, la bague intérieure  
15 2, les chemins de roulement externe 10 et interne 18 et la cage 4 sont coaxiaux autour de l'axe X-X du roulement.

Dans le mode de réalisation préféré, les rouleaux 3 et les bagues  
extérieure 1 et intérieure 2 sont réalisés en un acier de nitruration de grande pureté, à nitruration profonde sur toutes les faces travaillantes des rouleaux 3  
20 et des bagues 1 et 2 qui viennent en contact les unes avec les autres et avec la cage 4. Pour les rouleaux 3, il s'agit des faces externes de la partie centrale cylindrique 5, de ses parties tronconiques 6, et ses faces latérales 8, et de manière pratique également de ses parties arrondies 7, de sorte que chaque rouleau 3 est en acier à nitruration profonde sur toute sa surface externe. Sur  
25 la bague extérieure 1, les surfaces au niveau desquelles la nitruration de l'acier est profonde sont le chemin de roulement externe 10, les faces internes 12 et les faces cylindriques 13 des épaulements 11, tandis que sur la bague intérieure 2, la seule surface au niveau de laquelle la nitruration de l'acier est profonde est le chemin de roulement interne 18.

30 Les rouleaux 3 et les bagues extérieure 1 et intérieure 2 sont des pièces qui sont chacune tout d'abord usinée dans un acier 32CDV13, élaboré par double fusion sous vide (procédé DfV) pour présenter une grande pureté, et

de préférence de la nuance G.K.H.Y.W de la société française Aubert et Duval, à partir d'ébauches découpées dans une barre de cet acier pour les rouleaux 3, et d'ébauches forgées en cet acier pour les bagues 1 et 2.

La composition chimique et certaines caractéristiques de cet acier 32CDV13 G.K.H.Y.W sont indiquées dans la colonne centrale du tableau figurant en fin de description, et dans lequel le coefficient K1c exprime l'aptitude du matériau à contenir la propagation des criques de surface.

Après cette opération d'usinage à partir d'ébauches dans cet acier, ces pièces (rouleaux 3 et bagues 1 et 2) sont soumises à un traitement thermochimique de nitruration profonde, qui est un traitement connu de nitruration gazeuse appliqué suffisamment longtemps aux pièces pour que la nitruration atteigne une profondeur comprise dans une plage s'étendant d'environ 0,45 mm à environ 0,75 mm à partir de la surface de la pièce traitée.

Le traitement thermochimique connu de nitruration gazeuse sur une pièce finie d'usinage consiste essentiellement à enfermer la pièce dans une enceinte confinée, telle qu'une étuve, dans laquelle la pièce est soumise à un gradient de température et maintenue sous une atmosphère d'azote à pression contrôlée, pendant un temps d'exposition contrôlé pour obtenir une diffusion de l'azote depuis la surface de la pièce en acier vers l'intérieur de cette pièce, jusqu'à une profondeur souhaitée.

Lorsque la nitruration profonde de l'acier 32CDV13 n'est désirée qu'au niveau de certaines surfaces, comme cela est le cas sur les bagues 1 et 2, les autres surfaces apparentes d'une pièce traitée sont soit masquées pendant le traitement thermochimique de nitruration, soit usinées avec une surépaisseur au niveau de ces autres surfaces, puis traitées par le traitement thermochimique de nitruration profonde, puis réusinées de sorte à supprimer la surépaisseur dans laquelle la nitruration profonde a été effectuée, ces deux façons de procéder étant connues.

On sait qu'un traitement de nitruration d'un acier a pour conséquence de former une couche superficielle de nitrures composée essentiellement de nitrures Fe<sub>4</sub>N et Fe<sub>2</sub>N, qui est de couleur blanche, et recouvre la couche nitrurée recouvrant elle-même le cœur de la pièce. Cette couche blanche

superficielle de nitrures abrasifs est fragile et a tendance à s'exfolier au roulement et cette couche blanche superficielle de nitrures est complètement éliminée par usinage d'au moins toutes celles des faces à nitruration profonde des rouleaux 3 et des bagues 1 et 2 qui sont des faces travaillantes, c'est-à-dire destinées à venir en contact les unes avec les autres et/ou avec la cage 4. Cette opération est effectuée de sorte qu'il ne reste plus aucune trace de la couche blanche de nitruration sur ces faces travaillantes.

Les rouleaux 3 et les bagues 1 et 2 réalisés en acier de nitruration 32CDV13 présentent, au niveau de leurs faces travaillantes à nitruration profonde, et en particulier au niveau des pistes et chemins de roulement, une dureté superficielle comprise dans une plage s'étendant d'environ 720 à environ 850 Vickers sous charge de 0,5 kg, et une dureté à cœur (sous la couche nitrurée) comprise dans une plage s'étendant d'environ 330 à environ 420 Vickers sous charge de 0,5 kg. Le profil optimal de dureté obtenu sur de telles pièces en acier de nitruration profonde est représenté par la courbe 23 de la figure 9, indiquant en ordonnée la dureté Vickers sous charge de 0,5 kg en fonction de la profondeur, exprimée en mm à partir de la surface, en abscisse, et cette courbe 23 du profil de dureté montre une décroissance à forte pente de la dureté, d'une valeur d'environ 825 Vickers sous charge de 0,5 kg (HV 0,5) pour une profondeur de 0,1 mm à une valeur d'environ 400 HV0,5 pour une profondeur d'environ 1 mm, puis une dureté sensiblement constante autour de 400 HV0,5 pour une profondeur de 1 à 1,5 mm.

En variante, les rouleaux 3 sont réalisés comme décrit ci-dessus, en acier 32CDV13 de nuance G.K.H.Y.W. à nitruration profonde (d'environ 0,45 à environ 0,75 mm de profondeur) sans aucune trace de couche blanche superficielle de nitrures sur les faces travaillantes, mais les bagues 1 et 2 sont réalisées en un autre acier, tel qu'un acier structural de cémentation de type M50NIL, dont la composition chimique et certaines caractéristiques sont indiquées dans la première colonne du tableau précité. L'acier M50NIL, conforme à la norme américaine AMS 6278, est également élaboré par double fusion sous vide, pour présenter une grande pureté, et, après l'usinage des bagues 1 et 2 à partir d'ébauches forgées en cet acier, les bagues 1 et 2

subissent un traitement thermochimique de cémentation, au moins au niveau de leurs faces travaillantes (chemin de roulement externe 10 et faces internes 12 et faces cylindriques 13 des épaulements 11 sur la bague extérieure 1, et chemin de roulement interne 18 sur la bague intérieure 2) désignées par les termes « piste de roulement » dans le tableau, et au niveau desquelles sont obtenues les caractéristiques indiquées dans la partie médiane de cette première colonne du tableau, alors que les caractéristiques à cœur (sous la couche cémentée) sont indiquées en partie inférieure de cette première colonne du tableau.

10 Selon une autre variante, les rouleaux 3 sont encore réalisés comme décrit ci-dessus, alors que les bagues 1 et 2 sont réalisées en encore un autre acier, tel qu'un acier à roulement traditionnel de type 80DCV40, également dénommé M50, conforme à la norme US AMS 6491, également élaboré par double fusion sous vide (procédé DFV) pour avoir une excellente pureté, les bagues 1 et 2 réalisées dans cet acier ayant de plus subi, après leur usinage à partir d'ébauches forgées, un traitement thermique de trempe à cœur, qui leur donne, à cœur comme au niveau des faces travaillantes ou pistes et chemins de roulement, une dureté Rockwell de 61 à 63 HRc, et une grande résistance mécanique à cœur de 2800 MPa, la composition chimique de cet acier et ses caractéristiques correspondant à celles données pour les deux autres aciers précédemment considérés, étant indiquées dans la troisième colonne (colonne de droite) du tableau précité.

25 Selon encore une autre variante, dans laquelle les rouleaux 3 sont encore réalisés comme décrit ci-dessus, les bagues 1 et 2 sont par contre réalisées en un autre acier à roulement traditionnel, de type 100C6, de préférence également élaboré par le procédé DFV, les bagues 1 et 2 étant soumises à un traitement thermique de trempe à cœur après leur usinage à partir d'ébauches forgées en cet acier.

30 Dans tous les exemples de réalisation, le traitement thermochimique de nitruration profonde, qui intervient sur les rouleaux 3 après une opération de rectification-ébauche des rouleaux, est suivie d'une opération de rectification de finition et super finition des rouleaux 3.

Il en est de même pour les bagues 1 et 2, après leur traitement thermochimique de nitruration profonde ou de cémentation, ou encore après leur traitement thermique de trempe à cœur, selon que ces bagues 1 et 2 sont réalisées en 32CDV13 G.K.H.Y.W., ou M50NIL, ou 80DCV40 (M50), comme  
5 expliqué ci-dessus.

Sur la figure 7 ont été représentés les profils des contraintes résiduelles sur des pièces (rouleaux et bagues) finies d'usinage avant traitement thermochimique de nitruration profonde ou de cémentation ou avant traitement thermique de trempe à cœur, selon l'acier utilisé pour réaliser les bagues 1 et  
10 2, ces courbes de profil étant représentées très près de la surface.

La courbe de profil 24, pour l'acier 32CDV13, montre qu'à partir d'une contrainte de compression en surface de l'ordre de -400 MPa, les contraintes résiduelles de compression diminuent très rapidement à une profondeur comprise entre environ 5  $\mu\text{m}$  et 10  $\mu\text{m}$ , pour être ensuite sensiblement  
15 constantes autour de -200 MPa à une profondeur variant d'environ 10  $\mu\text{m}$  à environ 20  $\mu\text{m}$ , et augmenter ensuite avec une pente bien plus faible pour atteindre environ -300 MPa à une profondeur de l'ordre de 50  $\mu\text{m}$ .

La courbe 25, correspondant au profil des contraintes résiduelles de l'acier M50NIL, présente une allure générale analogue, avec une diminution  
20 rapide des contraintes de compression d'environ -500 MPa en surface à environ -150 MPa à une profondeur de l'ordre de 20  $\mu\text{m}$ , pour augmenter ensuite avec une pente bien plus faible jusqu'à une contrainte de compression de l'ordre de -200 MPa pour une profondeur d'environ 50  $\mu\text{m}$ .

La courbe 26, correspondant au profil des contraintes résiduelles de  
25 l'acier 80DCV40 ou M50 présente également une diminution très rapide des contraintes résiduelles de compression depuis une valeur d'environ -450 MPa en surface jusqu'à une valeur nulle pour une profondeur de l'ordre de 12 à 13  $\mu\text{m}$ , les contraintes résiduelles étant ensuite des contraintes de traction de l'ordre de 25 à 30 MPa d'une profondeur variant d'environ 20  $\mu\text{m}$  à environ 50  
30  $\mu\text{m}$ .

Sur la figure 8, les courbes 24', 25' et 26' représentent les profils de contraintes résiduelles correspondant respectivement aux profils 24, 25 et 26

de la figure 7 pour les aciers respectivement 32CDV13, M50NIL et 80DCV40 (ou M50), mais après leur traitement thermochimique soit de nitruration profonde pour l'acier 32CDV13, soit de cémentation pour l'acier M50NIL, ou de traitement thermique de trempe à cœur pour l'acier 80DCV40 (ou M50).

5            On constate sur le profil 24' qu'à partir de contraintes résiduelles de compression de l'acier 32CDV13 nitruré de l'ordre de -200 MPa pratiquement en surface, les contraintes de compression augmentent rapidement jusqu'à environ -430 MPa à une profondeur légèrement supérieure à 100  $\mu\text{m}$ , pour être ensuite sensiblement constantes jusqu'à une profondeur de l'ordre de 400  
10  $\mu\text{m}$ , à partir de laquelle les contraintes résiduelles en compression diminuent relativement rapidement pour s'annuler à une profondeur d'environ 800  $\mu\text{m}$ , profondeur au-delà de laquelle les contraintes résiduelles sont des contraintes de traction sensiblement constantes et de faible valeur.

Par contre, la courbe 25' du profil des contraintes résiduelles de  
15 compression de l'acier M50NIL cémenté est sensiblement constante autour de -200 MPa d'une très faible profondeur à une profondeur d'environ 800  $\mu\text{m}$ , au-delà de laquelle ces contraintes résiduelles de compression diminuent lentement.

Quant à la courbe 26' du profil des contraintes résiduelles de l'acier  
20 80DCV40 (ou M50) après trempe à cœur, elle est pratiquement superposée à l'axe des abscisses indiquant la profondeur sous la surface en  $\mu\text{m}$ .

La comparaison des figures 7 et 8 permet de constater que le traitement thermochimique de nitruration profonde a essentiellement pour effet de décaler en profondeur la zone du profil de contraintes résiduelles à forte  
25 décroissance, d'une part, et, d'autre part, que les profils de contraintes résiduelles établies au cours des opérations de rectification de finition et superfinition, qui font suite au traitement thermochimique de nitruration profonde, se superposent aux profils obtenus par l'effet thermochimique de la nitruration profonde. Ceci résulte de ce que ces opérations de rectification de  
30 finition et de superfinition correspondent, sur la figure 8, à un déplacement de la surface, c'est-à-dire de l'origine de l'axe des abscisses, d'environ 400  $\mu\text{m}$  en profondeur, donc le long de cet axe.



On constate que la durée de vie de tels roulements avec des rouleaux 3 cylindriques dépouillés en acier de nitruration profonde est doublée, par rapport à celle des roulements connus de ce type, avant l'apparition des premières criques de fatigue de surface, qui engendrent les écaillages des chemins et pistes de roulement des bagues 1 et 2 et des rouleaux 3.

Les roulements à rouleaux cylindriques dépouillés en acier de nitruration profonde selon l'invention présentent un meilleur comportement à l'indentation des surfaces en contact, lors de l'ingestion de particules étrangères, ainsi d'ailleurs qu'un meilleur comportement aux conditions limites de lubrification, par comparaison avec les roulements connus de même type.

Les roulements selon l'invention sont, pour ces raisons, particulièrement bien adaptés à l'application au montage en rotation des étages de rotors de compresseurs de turbines et turboréacteurs d'aéronefs.

**TABLEAU DES COMPOSITIONS CHIMIQUES ET  
CARACTERISTIQUES DES ACIERS UTILISES**

	<b>M50NIL</b>	<b>32CDV13 G.K.H.Y.W</b>	<b>80DCV40 (M50)</b>
Elaboration	DFV	DFV	DFV
C (*)	0.12	0.3	0.8
Cr (*)	4	3	4
Mo (*)	4	1	4
V (*)	1.2	0.2	1
Ni (*)	3.5	0.15	0.15
Norme US AMS	6278	6481	6491
Température de Fonctionnement	< 350°C	< 300°C	< 350°C
<b>Piste de roulement :</b>			
Distribution Carbures Nitrures	Uniforme	Uniforme	En bande
Indice de Grain (Taille)	7	8	8
Austénite Résiduelle	< 6 %	≈ 0	< 3 %
Dureté Rockwell	59 – 62 HRc	> 63 HRc	61 – 63 HRc
<b>A cœur :</b>			
Distribution Carbures Nitrures			En bande
Indice de Grain (Taille)	8	8	8
Dureté Rockwell	40 HRc	≈ 40 HRc	61 – 63 HRc
Résistance mécanique RM	1250 MPa	1250 MPa	2800 MPa
K1c	60 MPa.m <sup>1/2</sup>	100 MPa.m <sup>1/2</sup>	20 – 30 MPa.m <sup>1/2</sup>

5 (\*) – en % et en poids.

## REVENDICATIONS

1. Roulement à rouleaux cylindriques dépouillés, dont les rouleaux (3) en acier sont retenus dans une cage (4) entre un chemin de roulement interne (18) cylindrique, délimité sur une surface lisse en position radiale externe sur une bague intérieure (2) en acier, et un chemin de roulement externe (10) cylindrique, délimité sur une surface en position radiale interne d'une bague extérieure (1) en acier, et bordé par au moins un épaulement (11) latéral annulaire en saillie sensiblement radialement vers l'intérieur sur la bague extérieure (1), coaxiale à la bague intérieure (2), aux chemins de roulement (10, 18) en regard l'un de l'autre, et audit épaulement annulaire, (11) caractérisé en ce qu'au moins les rouleaux (3) sont en un acier de nitruration à nitruration profonde, comprenant, en pourcent et en poids, de l'ordre de :
- 0,3 % de C,
  - 3 % de Cr,
  - 1 % de Mo,
  - 0,2 % de V,
  - 0,15 % de Ni,
- élaboré par double fusion sous vide, et dont la couche blanche superficielle de nitrures a été complètement éliminée d'au moins toutes les faces travaillantes (5, 6, 8) des rouleaux (3) venant en contact avec les bagues (1, 2) et/ou la cage (4).
2. Roulement selon la revendication 1, caractérisé en ce que la profondeur de nitruration de l'acier de nitruration profonde est comprise dans une plage s'étendant d'environ 0,45 mm à environ 0,75 mm.
3. Roulement selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que l'acier de nitruration à nitruration profonde est un acier 32CDV13.
4. Roulement selon la revendication 3, caractérisé en ce que l'acier 32 CDV13 est de la nuance G.K.H.Y.W. de l'aciériste français Aubert et Duval.
5. Roulement selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que l'une au moins des bagues extérieure (1) et intérieure (2) est réalisée en un acier à roulement traditionnel de type 100C6.

6. Roulement selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que l'une au moins des bagues extérieure (1) et intérieure (2) est réalisée en un acier à roulement traditionnel de type M50 (ou 80DCV40) comprenant, en pourcent et en poids, de l'ordre de :

- 5           - 0,8 % de C,
- 4 % de Cr,
- 4 % de Mo,
- 1 % de V,
- 0,15 % de Ni,

10 et élaboré par double fusion sous vide et avec un traitement thermique de trempe à cœur.

7. Roulement selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que l'une au moins des bagues extérieure (1) et intérieure (2) est réalisée en un acier structural de cémentation de type M50NIL, comprenant,

15 en pourcent et en poids, de l'ordre de :

- 0,12 % de C,
- 4 % de Cr,
- 4 % de Mo,
- 1,2 % de V,
- 20          - 3,5 % de Ni,

et élaboré par double fusion sous vide, et avec un traitement thermochimique de cémentation.

8. Roulement selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que l'une au moins des bagues extérieure (1) et intérieure (2) est  
25 réalisée en un acier de nitruration analogue ou identique à celui des rouleaux (3), et à nitruration profonde avec élimination complète de la couche blanche superficielle de nitrures au moins sur toute surface (10, 12, 13 ; 18) de ladite bague (1, 2) qui est destinée à venir en contact avec les rouleaux (3) et/ou la cage (4).

30 9. Roulement selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que les rouleaux (3) et, le cas échéant, la ou les bagues (1, 2) réalisés en acier de nitruration profonde présentent une dureté superficielle comprise

dans une plage s'étendant d'environ 720 à environ 850 Vickers sous charge de 0,5 kg, et une dureté à cœur comprise dans une plage s'étendant d'environ 330 à environ 420 Vickers sous charge de 0,5 kg.

10. Roulement selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que la cage (4) est métallique et monobloc, avec autant d'alvéoles que de rouleaux (3), chaque alvéole logeant l'un respectivement des rouleaux (3), ladite cage (4) étant centrée sur la bague extérieure (1).

11. Roulement selon la revendication 10, caractérisé en ce que la cage (4) métallique est en bronze ou en un acier de type 40NCD7 élaboré sous vide, avec un argentage de surface au moins au niveau des alvéoles.

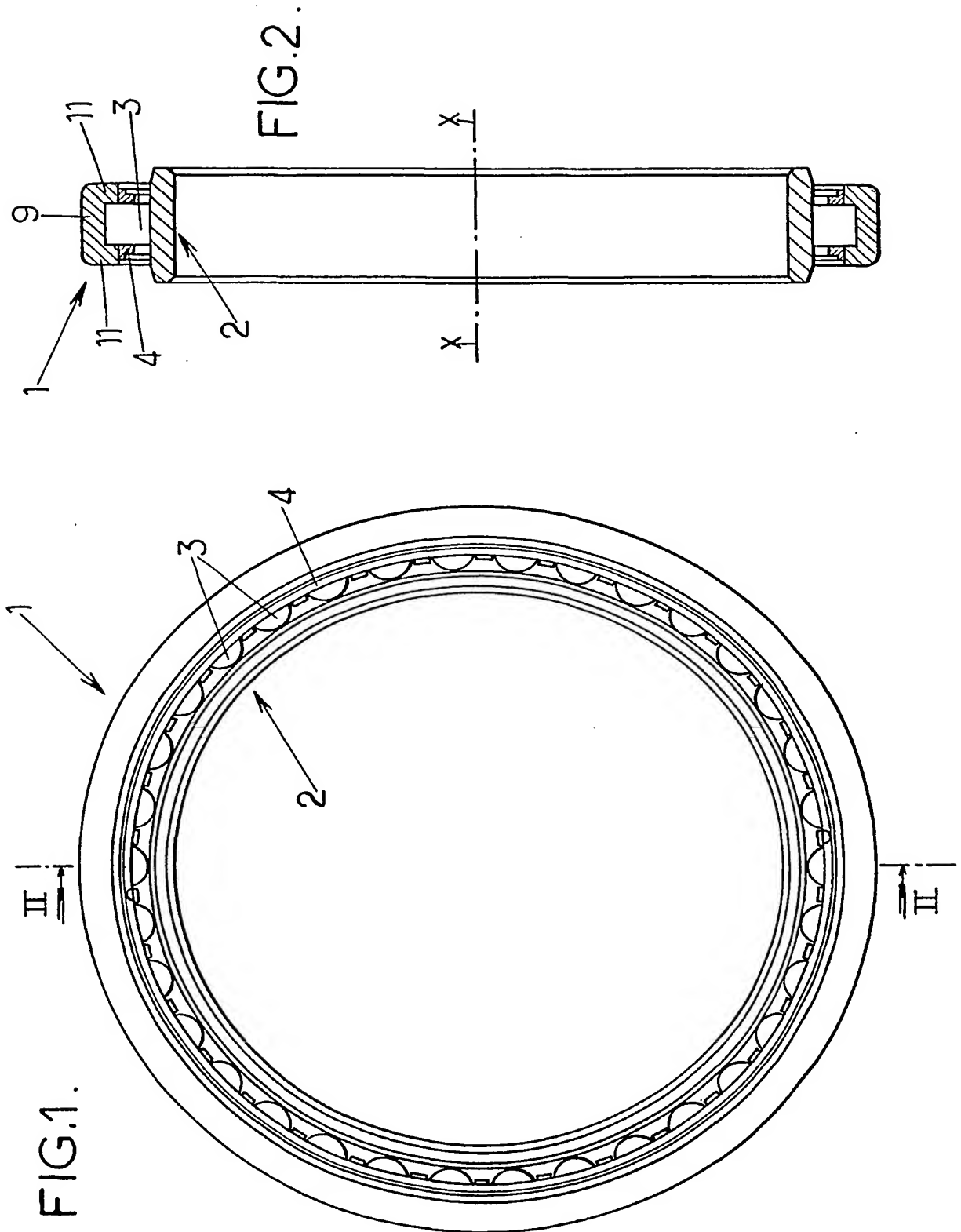
12. Roulement selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que le chemin de roulement externe (10) cylindrique est délimité sur la bague extérieure (1) entre deux épaulements (11) latéraux annulaires en saillie sensiblement radialement vers l'intérieur.

13. Roulement selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que chaque épaulement (11) présente une face interne (12), tournée vers les rouleaux (3), qui présente un faible angle de dépouille, compris dans une plage s'étendant d'environ 15° à environ 45°.

14. Roulement selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, caractérisé en ce que chaque épaulement (11) présente une surface cylindrique (13), en position radiale interne, coaxiale au chemin de roulement externe (10), et formant une surface de centrage de la cage (4).

15. Roulement selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, caractérisé en ce que le rapport de la hauteur radiale de chaque épaulement (11) au diamètre des rouleaux (3) est compris dans une plage s'étendant d'environ 0,29 à environ 0,31.

16. Roulement selon l'une quelconque des revendications 1 à 15, caractérisé en ce que le chemin de roulement interne (18) est délimité sur la bague intérieure (2) entre deux portions (19) d'extrémité axiale de ladite bague intérieure (2) ayant chacune une face externe tronconique (20) convergent axialement vers l'extérieur.



2/5

FIG.3.

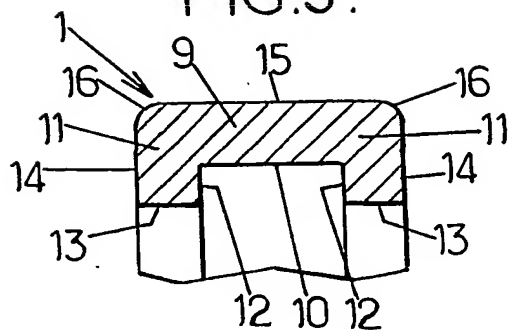


FIG.4.

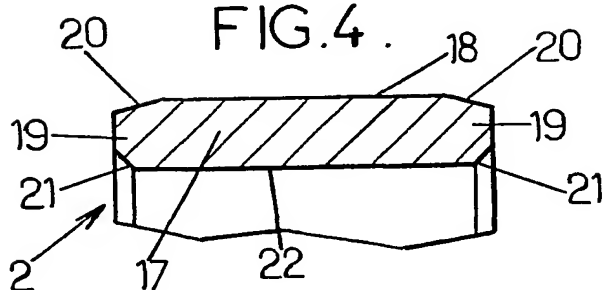


FIG.5.

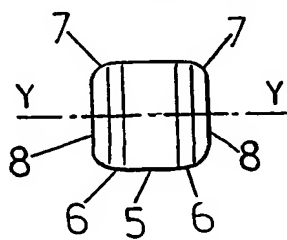
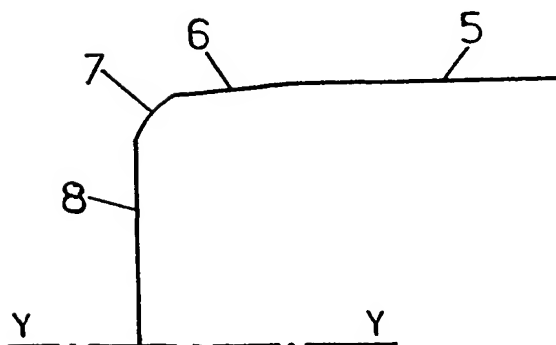


FIG.6.



3/5

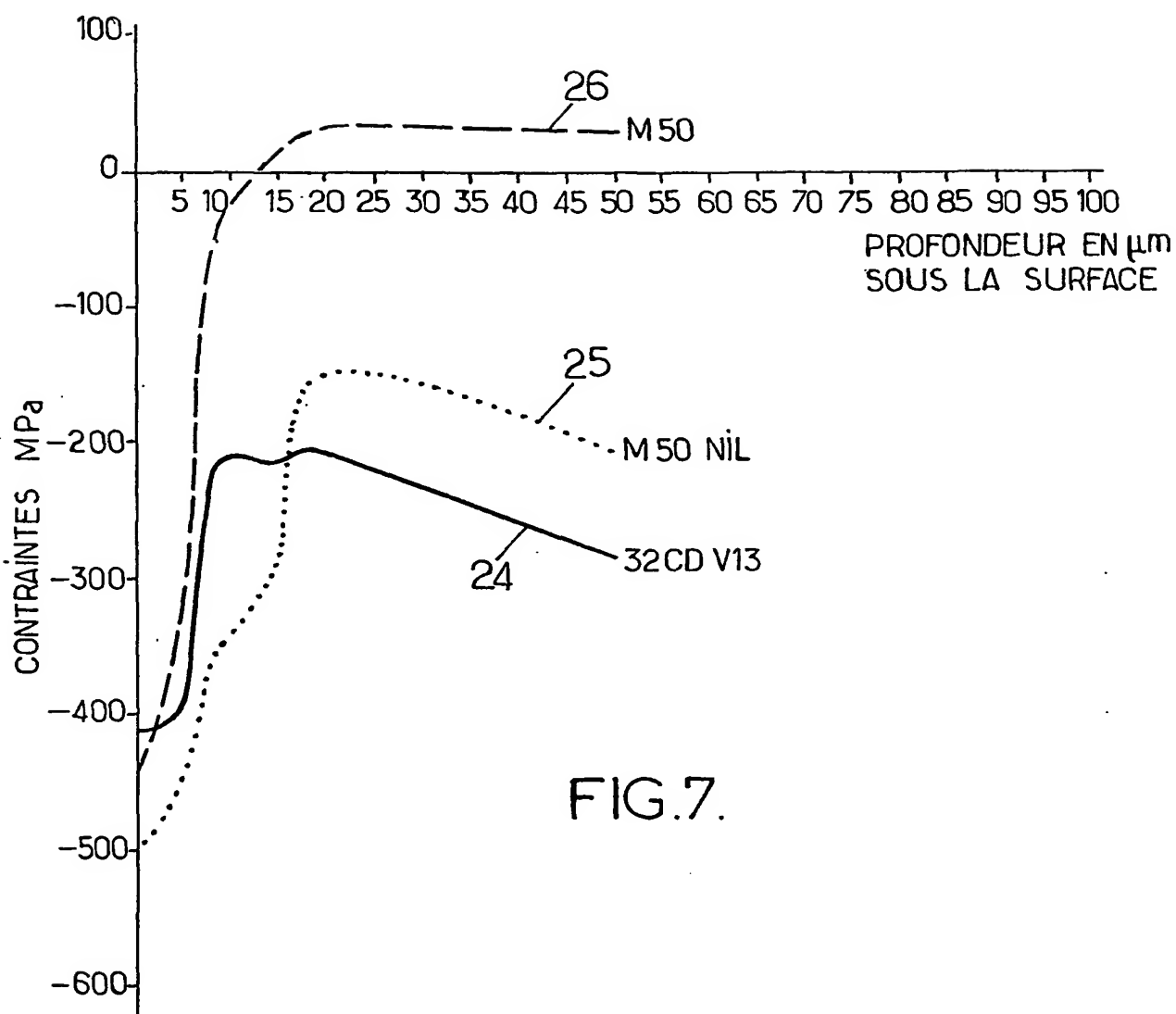
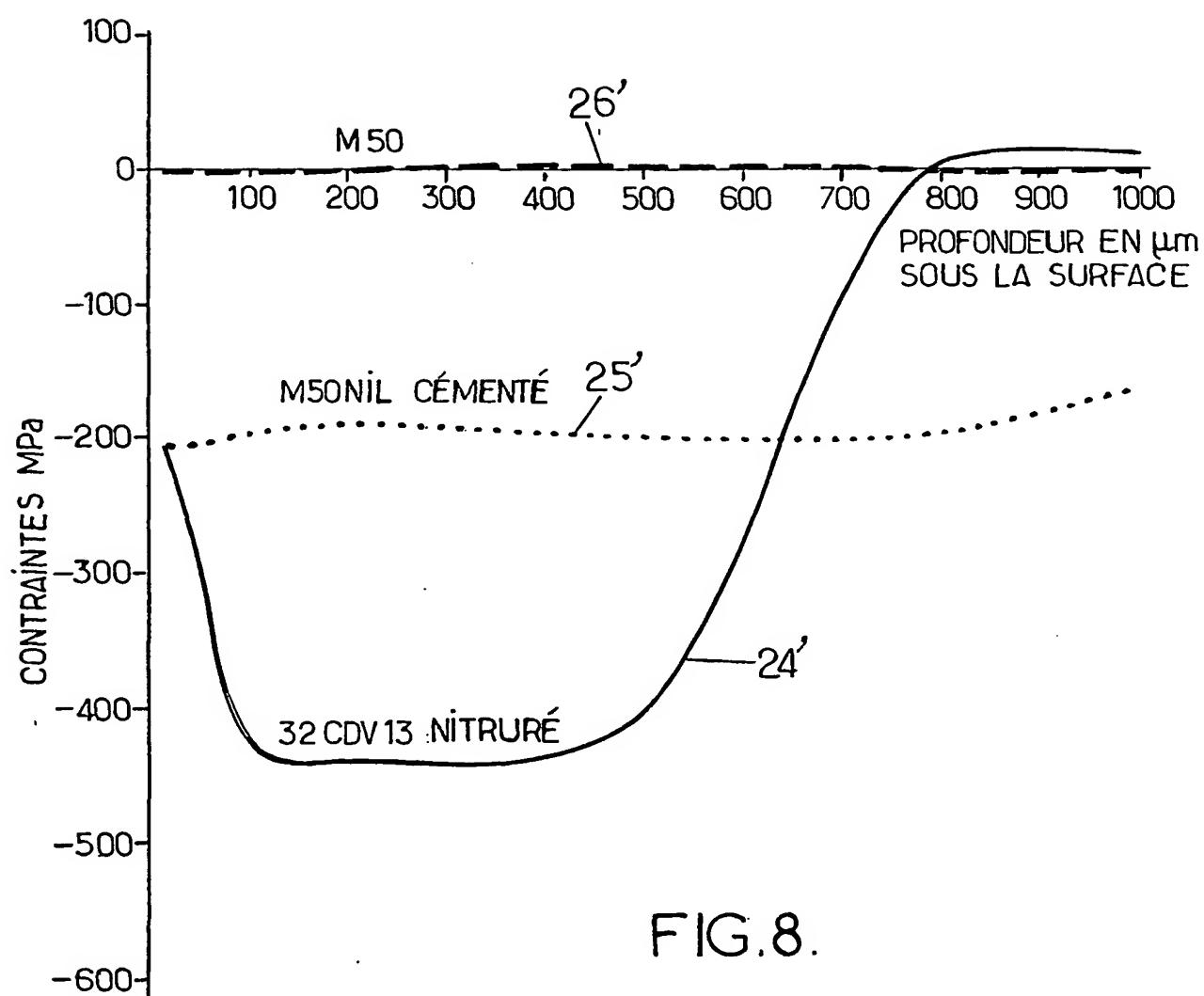


FIG.7.



4/5



5/5

FIG. 9.

